

## Differenzdrucksensor mit Überlastdämpfung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Differenzdrucksensor mit hydraulischer Druckübertragung. Derartige Differenzdrucksensoren umfassen in der Regel ein Messwerk mit einer hochdruckseitigen Kammer und einer niederdruckseitigen Kammer, die jeweils von einer Trennmembran verschlossen und mit einem Übertragungsmedium gefüllt sind. Die Trennmembranen werden mit einem hochdruckseitigen Wirkdruck bzw. einem niederdruckseitigen Wirkdruck beaufschlagt, der über die Trennmembranen in die jeweilige Kammer übertragen wird. Die Kammern sind voneinander durch einen Elementarsensor getrennt, wobei der Elementarsensor ein druckempfindliches Element, insbesondere eine Messmembran, aufweist, die auf ihrer ersten Oberfläche mit dem hydraulischen Druck in der hochdruckseitigen Kammer und auf ihrer zweiten Oberfläche mit dem hydraulischen Druck in der niederdruckseitigen Kammer beaufschlagt wird. Insbesondere druckempfindliche Elemente aus Halbleitermaterialien weisen eine solche Steifigkeit auf, dass der Volumenhub am druckempfindlichen Element über den gesamten Messbereich praktisch vernachlässigbar ist. Dies bedingt jedoch umgekehrt, dass die druckempfindlichen Elemente sehr empfindlich gegen Überlasten sind, da kaum Elastizität vorhanden ist, um diese Überlasten aufzufangen, was zur Zerstörung der Messzelle führen kann. Ein statischer Überlastschutz wird meist dadurch gewährleistet, dass ein mechanischer Überlastschutz bei einseitiger Überlast Flüssigkeit von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite (oder umgekehrt) verschiebt und die Trennmembranen zur Anlage kommen. Ein weiterer Druckanstieg wird somit vermieden.

Ein anderes Problem stellen dynamische Überlastspitzen in Form von Druckschlägen dar. Konstruktionen von Differenzdrucksensoren sind zwar darauf orientiert, die Zellen hochdruck- und niederdruckseitig weitgehend symmetrisch aufzubauen (gleiche Kanalführung, Flüssigkeitsvolumen, Membranen etc.), um somit den Temperaturfehler und den statischen

- Druckfehler zu minimieren, aber Asymmetrien, zumindest hinsichtlich des dynamischen Verhaltens, lassen sich aufgrund anderer Randbedingungen nicht immer vermeiden. Bei dynamischen beidseitigen Belastungen wie Druckstößen bei Heißdampfmessungen, Impulsen von Kolbenpumpen, Erschütterungen von geschlossenen Behältersystemen führt dies zu Laufzeitunterschieden zwischen HP- und LP-Seite und damit einhergehend zu kurzzeitigen Druckspitzen am Sensor. Der Chip wird zerstört und das Gerät fällt aus.
- 10 Durch einfache Verringerung des Durchmessers beispielsweise der Druckzuleitung zwischen der hochdruckseitigen Kammer und dem druckempfindlichen Element können die Nadelimpulse nicht wirksam bedämpft werden.
- 15 Die deutsche Offenlegungsschrift DE 37 13 236 A1 offenbart einen Drucksensor, bei dem zwischen Prozess und der Messzelle eine Sintermetallplatte oder eine Stahlplatte mit einer Bohrung oder mehreren parallelen Bohrungen von höchstens 0,5 mm Durchmesser eingesetzt wird. Diese Lösung ist aus verschiedenen Gründen unbefriedigend. Einerseits bewirkt die Reduzierung des hydraulischen Pfades zwischen Prozess und Messzelle auf selbst eine einzige Bohrung mit 0,5 mm Durchmesser bei einer Bohrungslänge, die bei der dargestellten Plattenstärke zu erwarten ist, bei weitem keine ausreichende Dämpfung, um nadelimpulsartige Überlastdruckschläge zu unterdrücken. Wird andererseits ein Dämpfungselement mit einem hinreichend großen Strömungswiderstand für eine effektive Bedämpfung vorgesehen, so ist die Reaktionsgeschwindigkeit des Differenzdrucksensors erheblich verlangsamt, so dass auch Druckschwankungen innerhalb des Messbereichs des Sensors nur mit Verzögerung registriert werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Differenzdrucksensor bereitzustellen, der die beschriebenen Nachteile überwindet.

- 5 Die Aufgabe wird gelöst durch den Differenzdrucksensor gemäß Anspruch 1. Weitere Vorteile und Gesichtspunkte der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Der erfindungsgemäße Differenzdrucksensor umfasst ein Messwerk mit einer  
 10 hochdruckseitigen Kammer, die von einer ersten Trennmembran verschlossen ist, und einer niederdruckseitigen Kammer, die von einer zweiten Trennmembran verschlossen ist, wobei die erste Trennmembran mit einem hochdruckseitigen Wirkdruck und die zweite Trennmembran mit dem  
 15 einem niederdruckseitigen Wirkdruck beaufschlagbar sind, und die hochdruckseitige Kammer von der niederdruckseitigen Kammer durch ein druckempfindliches Element, insbesondere eine Messmembran, getrennt ist, die hochdruckseitige und die niederdruckseitige Kammer mit einem Übertragungsmedium gefüllt sind, und wobei ferner die niederdruckseitige  
 20 Kammer eine hydraulische Drossel aufweist, die zwischen der zweiten Trennmembran und dem druckempfindlichen Element angeordnet ist.

Die Drossel umfasst vorzugsweise einen porösen Körper, insbesondere einen porösen Sinterkörper, besonders bevorzugt einen Sinterkörper aus einem metallischen oder einem keramischen Material, insbesondere  
 25 Korundfilter oder Bronzefilter. Geeignete Bronzefilter sind beispielsweise von der Firma GKN in Radevormwald unter der Bezeichnung SIK-A-B erhältlich.

Die Drossel ist vorzugsweise so dimensioniert, dass der durch einen hochdruckseitigen Überlastdruckschlag ausgelöste Volumenstrom, der über  
 30 die Messmembran in die niederdruckseitige Kammer übertragen wird, einen so großen Strömungswiderstand durch die Drossel erfährt, dass die

Messmembran niederdruckseitig durch hydraulischen Druck zwischen der Messmembran und der Drossel abgestützt wird.

5      Langsame Volumenströme durch die Drossel sind dagegen durchaus möglich, so dass einerseits ein Ausgleich von Volumenveränderungen der Übertragungsflüssigkeit aufgrund von Temperaturänderungen erfolgen kann, und andererseits vergleichsweise langsame normale Schwankungen des hochdruckseitigen und niederdruckseitigen Wirkdrucks hinreichend schnell zur Messmembran übertragen werden.

10

Bevorzugt beträgt der strömungswirksame Durchmesser, ermittelt mit Coulter Porometer nach ASTM E 1294 mit Isopropanol als Benetzungsmittel, nicht weniger als 4  $\mu\text{m}$  und nicht mehr als 28  $\mu\text{m}$ , wobei derzeit strömungswirksame Durchmesser zwischen 8  $\mu\text{m}$  und 16  $\mu\text{m}$  besonders bevorzugt sind. Die strömungswirksamen Durchmesser werden  
15      bevorzugt in Kombination mit einer Porosität zwischen 15 Vol.% und 50 Vol.%, besonders bevorzugt zwischen 25 Vol% und 35 Vol%, eingesetzt.

Zylindrische Drosselkörper sind insofern bevorzugt, als diese einfach in  
20      komplementäre Bohrungen in der zweiten niederdruckseitigen eingesetzt werden können. Bevorzugt weisen die Drosselkörper eine Länge auf, die mindestens doppelt so groß ist wie der Durchmesser der Drosselkörper, wobei in einer derzeit besonders bevorzugten Ausführungsform die Länge des Drosselkörpers etwa das vierfache des Durchmessers beträgt.

25

Die Einzelheiten der Drossel hinsichtlich der Porengröße, der Porosität und der geometrischen Abmessungen hängen im Einzelfall u.a. von der Druckfestigkeit der Messmembran und den zu erwartenden Überlasten sowie den konstruktiven Randbedingungen ab. Es liegt im Bereich des  
30      fachmännischen Könnens, die Konstruktion der Drossel für einen gegebenen Differenzdrucksensor zu optimieren.

Ein weiterer Parameter ist die Menge der zwischen dem druckempfindlichen Element und der Drossel eingeschlossenen Übertragungsflüssigkeit. Insofern als die Übertragungsflüssigkeit in geringem Umfang kompressibel ist, wird die abstützende Wirkung der Drossel um so mehr verringert, je größer das  
 5 Volumen der Übertragungsflüssigkeit zwischen der Messmembran und der Drossel ist. Vorzugsweise sollte dieses Volumen im Rahmen der konstruktiven Randbedingungen minimiert werden.

Die Erfindung wird nun anhand des in den Fig 1 dargestellten  
 10 Ausführungsbeispiels und der in Fig. 2 und 3 gezeigten Daten näher erläutert.

Es zeigt:

15 Fig. 1: Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Differenzdrucksensor;

Fig. 2: Simulationsergebnisse zur Antwort einer Messmembran auf Druckimpulse im Messbereich und im Überlastfall, jeweils für  
 20 einen erfindungsgemäßen Differenzdrucksensor und einen Differenzdrucksensor mit einer prozesseitigen Drossel;

Fig. 3: den gemessenen Druck an der Messzelle bei einer hochdruckseitigen dynamischen Überlast; und  
 25

Fig. 4: die Sprungantwort eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors im Meßbereich.

Der in Fig. 1 gezeigte Differenzdrucksensor umfasst ein Messwerk 1 mit  
 30 einer hochdruckseitigen Kammer 5, die von einer ersten Trennmembran 2 verschlossen ist, und eine niederdruckseitige Kammer 6, die von einer zweiten Trennmembran 3 verschlossen ist. Im Inneren des Messwerks 1 ist

ein druckempfindliches Element 4 angeordnet, welches eine Messmembran aufweist, wobei das druckempfindliche Element 4 die hochdruckseitige Kammer 5 von der niederdruckseitigen Kammer 6 trennt. In der bevorzugten Ausführungsform ist das druckempfindliche Element ein piezoresistiver Siliziumchip. Prinzipiell ist die Erfindung aber unabhängig vom Wirkprinzip des druckempfindlichen Elementes.

Die hochdruckseitige Kammer und die niederdruckseitige Kammer sind vollständig mit einem Übertragungsmedium, vorzugsweise einem Silikonöl gefüllt.

In der niederdruckseitigen Kammer 6 ist eine Drossel 7 angeordnet. Hierzu weist die niederdruckseitige Kammer eine Bohrung 8 auf, in welcher die Drossel im Klemmsitz fixiert ist.

Die bevorzugte Drossel umfasst ein Filterelement aus Sinterbronze mit einer Porosität von etwa 29% einem strömungswirksamen Porendurchmesser von etwa 11  $\mu\text{m}$ . Das bevorzugte Filterelement hat eine Länge von 8 mm und einen Durchmesser von 2 mm (Die Proportionen in Fig. 1 sind nicht korrekt).

Die erfindungsgemäße Anordnung führt zu einer hinreichenden Bedämpfung von nadelimpulsartigen Überlaststößen, während Druckimpulse im Messbereich hinreichend schnell registriert werden, wie nachfolgend anhand von Fig. 2 erläutert wird.

Fig. 2 zeigt zur Verdeutlichung der Wirkweise des erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors das Ergebnis von Simulationen der hydrodynamischen Eigenschaften eines Messwerks mittels eines elektrodynamischen Analogons mit dem Programm PSPICE. In den Teilfiguren wurde jeweils die Antwort eines Differenzdrucksensors etwa gemäß der DE 37 13 236 A1 mit einer hochdruckseitigen Drossel (obere Kurve) mit der Antwort des erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors

(untere Kurve) verglichen. Als hochdruckseitige Drossel wurde hier ein Kanal mit einer Länge von 8 mm und einem Durchmesser von 0,2 mm modelliert. (Eine hochdruckseitige Drossel in der Art der erfindungsgemäßen atmosphärenseitigen Drossel würde nahezu zur vollständigen Bedämpfung des Messsignals und zu viel zu langen Zeitkonstanten führen.) Der Begriff „Antwort“ bezeichnet hier das vom druckempfindlichen Element ausgegebene Signal, welches naturgemäß auch ein Maß für die Belastung des druckempfindlichen Elementes ist.

Die obere Teilfigur von Fig. 2 zeigt die Antwort auf einen Rechteckimpuls mit einer Amplitude von 1 bar bzw. 1 Volt, welche im Messbereich des Differenzdrucksensors liegt. Die hochdruckseitige Drossel nach dem Stand der Technik glättet den Rechteckimpuls, und kann dem zeitlichen Verlauf nicht hinreichend schnell folgen. Die erfindungsgemäße niederdruckseitige Drossel beeinträchtigt dagegen die Antwort auf einen Rechteckimpuls praktisch nicht. Der zeitliche Verlauf des Rechteckimpulses wird fehlerfrei abgebildet.

Die untere Teilfigur von Fig. 2 zeigt die Antwort des Differenzdrucksensors auf einen kurzen Rechteckimpuls im Überlastfall mit einer Amplitude von 100 bar bzw. 100 Volt. Die hochdruckseitige Drossel bewirkt eine Dämpfung der Antwort auf etwa 14 bar bzw. 14 Volt, wobei die große Zeitkonstante der Drossel ein langsames Abklingen der Antwort bewirkt, wie in der oberen Kurve dargestellt ist. Die Bedämpfung durch die erfindungsgemäße niederdruckseitige Drossel erweist sich als effektiver, da die Amplitude der Antwort nur etwa 7 bar bzw. 7 Volt beträgt. Zudem fällt die Gleichgewichtslage der Antwort aufgrund der kürzeren Zeitkonstanten schneller auf den Ausgangswert zurück, wobei die Antwort in einer gedämpften Schwingung um die Gleichgewichtslage oszilliert. Durch geeignete Auswertungsschaltungen, kann jedoch der Mittelwert ohne weiteres extrahiert werden.

Die experimentelle Bestätigung des erfindungsgemäßen Konzepts ergibt sich aus den Fin. 3 und 4.

Fig. 3 zeigt die Antwort auf hochdruckseitige Überlastdruckschläge. Die  
5 punktierte Linie zeigt den Verlauf des auf den Differenzdrucksensor einwirkenden hydraulischen Differenzdrucks, während die durchgezogene Linie den an dem Siliziumchip im Differenzdrucksensor anstehenden Druck darstellt. Die Beiden Kurven sind der Übersichtlichkeit halber unterschiedlich skaliert. Den Kurven ist im Vergleich zu entnehmen, dass Überlastschläge  
10 durch das Sintermetall zuverlässig bedämpft werden und den Siliziumchip nicht zerstören können.

Fig. 4 zeigt schließlich, dass das dynamische Verhalten des Differenzdrucksensors durch die Sintermetalldämpfung nicht beeinträchtigt  
15 wird. Fig. 4 vergleicht die Sprungantworten auf einen Rechteckimpuls im Messbereich, zwischen einem erfindungsgemäßen Differenzdrucksensor mit einer niederdruckseitigen Sintermetallabstützung (Fig. 4a) und einem Differenzdrucksensor ohne eine solche Sintermetallabstützung (Fig. 4b). Es sind praktisch keine Unterschiede in der Dynamik der Sprungantwort zu  
20 erkennen.

Im Ergebnis erweist sich der erfindungsgemäße Differenzdrucksensor mit einer niederdruckseitigen Drossel als vorteilhaft, da die Antwortfunktion schnellen Änderungen im Messbereich schneller folgen kann als bei  
25 Drucksensoren mit einer prozessseitigen Drossel. Zudem ist die Bedämpfung von Nadelimpulsen im Überlastfall beim erfindungsgemäßen Differenzdrucksensor mindestens so gut wie bei einem Differenzdrucksensor nach dem Stand der Technik.

## Patentansprüche

1. Differenzdrucksensor zur Messung der Druckdifferenz zwischen einem  
hochdruckseitigen Wirkdruck und einem niederdruckseitigen Wirkdruck,  
5 umfassend:

ein Messwerk (1) mit

10 einer hochdruckseitigen Kammer (5), die von einer ersten  
Trennmembran (2) verschlossen und mit einem  
Übertragungsmedium gefüllt ist, wobei die erste Trennmembran  
(2) mit dem hochdruckseitigen Wirkdruck beaufschlagbar ist;

15 einer niederdruckseitigen Kammer (6) die von einer zweiten  
Trennmembran (3) verschlossen und mit einem  
Übertragungsmedium gefüllt ist, wobei die zweite Trennmembran  
(3) mit dem niederdruckseitigen Wirkdruck beaufschlagbar ist;

20 einem druckempfindliches Element (4), welches die  
hochdruckseitige Kammer (5) von der niederdruckseitigen Kammer  
(6) trennt; und

einer Drossel (7) zu Bedämpfung von Überlastimpulsen; **dadurch  
gekennzeichnet dass**

25 die Drossel (6) zwischen dem druckempfindlichen Element (4) und  
der zweiten Trennmembran (3) angeordnet ist.

- 30 2. Differenzdrucksensor nach Anspruch 1, wobei das  
Übertragungsmedium eine Hydraulikflüssigkeit, insbesondere ein  
Silikonöl ist.

3. Differenzdrucksensor nach Anspruch 1 oder 2, wobei das druckempfindliche Element 4 eine Messmembran, insbesondere einen piezoresistiven Siliziumchip mit einer Messmembran, aufweist.
4. Differenzdrucksensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Drossel (7) einen Sinterkörper aufweist.
5. Differenzdrucksensor nach Anspruch 4, wobei der Sinterkörper ein metallischer oder ein keramischer Sinterkörper ist.
6. Differenzdrucksensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Drossel eine poröse Struktur aufweist.
7. Differenzdrucksensor nach Anspruch 6 wobei die poröse Struktur eine strömungswirksamen Porendurchmesser von nicht weniger als 4  $\mu\text{m}$  und nicht mehr als 28  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 8  $\mu\text{m}$  und 16  $\mu\text{m}$  aufweist.
8. Differenzdrucksensor nach Anspruch 6 oder 7 wobei die poröse Struktur eine Porosität zwischen 15 Vol.% und 50 Vol.%, bevorzugt zwischen 25 Vol% und 35Vol%, aufweist.
9. Differenzdrucksensor nach einem der Ansprüche 4 bis 8, wobei der Sinterkörper eine im wesentlichen zylindrische Form aufweist und die

Länge des Sinterkörpers in axialer Richtung mindestens doppelt so groß ist wie der Durchmesser.

### **Zusammenfassung**

Der erfindungsgemäße Differenzdrucksensor umfasst ein Messwerk 1 mit einer hochdruckseitigen Kammer 5, die von einer ersten Trennmembran 2  
5 verschlossen ist und einer niederdruckseitigen Kammer 6 die von einer zweiten Trennmembran 3 verschlossen ist, wobei die erste Trennmembran 2 mit einem hochdruckseitigen Wirkdruck und die zweite Trennmembran 3 mit einem niederdruckseitigen Wirkdruck beaufschlagbar sind, und die hochdruckseitige Kammer 5 von der niederdruckseitigen Kammer 6 durch ein  
10 druckempfindliches Element 4, insbesondere eine Messmembran, getrennt ist, die hochdruckseitige und die niederdruckseitige Kammer mit einem Übertragungsmedium gefüllt sind. Zur Bedämpfung von hochdruckseitigen Überlastimpulsen, die auf die erste Trennmembran 2 wirken, ist eine hydraulische Drossel 7 vorgesehen, die niederdruckseitig zwischen der  
15 zweiten Trennmembran und dem druckempfindlichen Element angeordnet ist.

(Fig. 1)